Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 4, Winter 2025, p. 385-399

Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)

H. Rezaei[1], F. Paknejad[2]*, M. N. Ilkaee[3], D. Habibi[3], M. Sadeghi-Shoae[4]

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4- Assistant Professor, Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Farzadpaknejad@gmail.com)

Received: 26 January 2024
Revised: 05 August 2024
Accepted: 07 August 2024
Available Online: 07 December 2024

How to cite this article:
Rezaei, H., Paknejad, F., Ilkaee, M. N., Habibi, D., & Sadeghi-Shoae, M. (2025). Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *22*(4), 385-399. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303

Introduction

Sugar beet is one of the most important industrial plants cultivated under diverse weather conditions. Nutrition management plays an important role in the yield and quality of sugar beet. Nowadays, foliar spraying of nano fertilizers is an effective method of agricultural products. Methanol foliar spraying reduces photorespiration, also increases carbon dioxide and ultimately improves photosynthesis of plants. The application of glycine protects plant cells by regulating osmosis, stabilizing proteins, protecting the photosynthetic apparatus, and reducing reactive oxygen species. There is not enough studies about the effect of methanolic sodium nanosilicate on plants, especially under different weather conditions. Therefore, regarding the application of methanol, especially methanolic sodium nanosilicate, and the effect of glycine on plant yield, the present study was conducted to investigate the foliar application of methanol and glycine and their interaction effect, also introduce the best level of application of foliar application on the yield and quality of sugar beet in two regions with different weather conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the 2018-2019 cropping year as a factorial randomized complete block design with three replicates at the research field of the Karaj and Qom two different climate locations. Karaj is a cold and mountainous region with mild summer and Qom is a dry and desert region with hot and dry summer. Treatments were 6 levels of methanol (0 (no use), 15 and 30% v v^{-1}, 5, 10 and 15 % v v^{-1} methanolic sodium nanosilicate) as well as 3 levels of glycine amino acid (0 (no use), 2 and 4 g l^{-1}). Sugar beet yield and quality were measured. Foliar spraying was done 3 times during the plant growth season with 14 day intervals on the aerial parts of the sugar beet plant and the control plots were sprayed with water. Data were analyzed using SAS (Ver. 9.4) software and the means were separated by the Duncan test at a 5% probability level.

Results and Discussion

The results demonstrated that sugar beet yield and quality in the Karaj region were better than in Qom. Spraying methanol and also glycine increased the yield and quality of sugar beet compared to the control (no

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303

application). The application of 15% methanolic sodium nanosilicate improved the quality and yield of sugar beet compared to 30% methanol. The consumption of methanolic sodium nanosilicate 15% v v^{-1}+ glycine 4 g l^{-1} increased the yield of root dry matter 65% and the yield of white sugar 50% compared to the control. Methanol is a source of carbon and glycine improved plant growth by increasing carbon efficiency. Also, with the increase of auxin hormone, it has produced more sugar substances and expanded the transfer of sucrose from the aerial parts to the roots. Therefore, the sugar percentage increased and the root impurities decreased. Among the methanol treatments, increasing the concentration of methanol up to 30% v.v^{-1} not only did not improve the quality of sugar beet, but also reduced the quality and yield compared to methanolic sodium nanosilicate 15% v v^{-1}. Methanolic sodium nanosilicate treatment of 15% v v^{-1} was much more effective than other treatments. Thus the yield of this treatment was better than the 30% v v^{-1} treatment. Because nano technology has provided suitable conditions for plant growth due to its high potential and better absorption by plants. In addition to nutrition, sugar beet production is greatly influenced by weather and environmental conditions. Sugar beet cultivation in Karaj was more satisfactory than in Qom, which can be said to be due to the presence of more soil organic matter, as well as more suitable weather conditions, especially at the end of the growing period in the Karaj region.

Conclusion

Based on the results of this study, spraying methanolic sodium nanosilicate 15% v v^{-1} and glycine 4 g l^{-1} were recommended to improve the yield and quality of sugar beet in climatic conditions similar to the Karaj region.

Keywords: Alkalinity coefficient, Root dry matter yield, Root impurities, Sugar percentage, White sugar yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۳، ص ۳۹۹-۳۸۵

بررسی اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلایسین بر عملکرد و کیفیت چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)

حسین رضایی[۱]، فرزاد پاک‌نژاد [۲*]، محمد نبی ایلکایی[۳]، داود حبیبی[۳]، مهدی صادقی شعاع[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

چکیده

چغندرقند از پراهمیت‌ترین گیاهان صنعتی است که در شرایط آب‌وهوایی متنوع کشت می‌شود و مدیریت تغذیه به‌ویژه کاربرد نانو فناوری نقش به‌سزایی در عملکرد و کیفیت این محصول دارد. بنابراین، به‌منظور بررسی تأثیر نانو سیلیکات سدیم متانولی و اسید آمینه گلایسین در عملکرد و کیفیت چغندرقند، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در سه تکرار، در دو منطقه کرج و قم اجرا شد. تیمارها شامل شش سطح متانول (صفر (عدم مصرف)، ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی و نانو سیلیکات سدیم متانولی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی)، همچنین سه سطح اسید آمینه گلایسین (صفر (عدم مصرف)، دو و چهار گرم در لیتر) بود. نتایج مطالعه حاضر بیانگر برتری کشت چغندرقند در منطقه کرج نسبت به قم بود. محلول‌پاشی متانول و گلایسین موجب افزایش عملکرد و ویژگی‌های کیفی چغندرقند نسبت به شاهد (عدم مصرف) شد. علاوه‌براین، کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد در بهبود کیفیت و عملکرد چغندرقند نسبت به متانول ۳۰ درصد نقش مؤثرتری داشت. مصرف نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی + گلایسین چهار گرم در لیتر، ۶۵ درصد عملکرد ماده خشک ریشه و ۵۰ درصد عملکرد شکر سفید را نسبت به شاهد افزایش داد. بنابراین، کشت چغندرقند در شرایط آب‌وهوایی مشابه با منطقه کرج و محلول‌پاشی نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی و گلایسین چهار گرم در لیتر در بهبود عملکرد و کیفیت چغندرقند مؤثرتر از سایر تیمارها بود.

واژه‌های کلیدی: درصد قند، ضریب قلیاییت، عملکرد شکر سفید، عملکرد ماده خشک ریشه، ناخالصی‌های ریشه

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) از محصولات صنعتی مهم در بخش کشاورزی می‌باشد و دو ویژگی عملکرد ریشه و درصد قند آن مورد توجه است. این گیاه با تأمین حدود ۳۵ درصد از تقاضای شکر جهان، نقش مهمی را در تأمین قند و شکر ایفا می‌کند. همچنین تفاله و ملاس آن در تغذیه دام کاربردهای فراوانی دارد (Lubova *et al.*, 2018). چغندرقند گیاهی دارای دوره رشد طولانی است و هیچ‌گونه خودتنظیمی جهت افزایش تجمع ساکاروز ندارد و به همین دلیل، وابسته به شرایط محیطی و محرک‌های خارجی است (Bayomi, El-Hashash, & Moustafa, 2019).

امروزه محلول‌پاشی کودهای نانو روشی مؤثر و کارآمد جهت بهره‌وری مناسب از محصولات کشاورزی می‌باشد. استفاده از تکنولوژی نانو در کشاورزی به‌ویژه کاربرد ذرات نانو (ذرات ۱۰۰-۱ نانومتر)، به‌علت پتانسیل بالا و ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن و همچنین به‌دلیل اینکه شبیه مولکول‌های بیولوژیکی مانند پروتئین‌ها بوده و قادر به عبور از غشاء سلولی هستند، می‌توانند گزینه مناسبی جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات باشند (Babo *et al.*, 2022; Elemike, Uzoh, Onwudiwe, & Babalola, 2019). یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان، استفاده از الکل‌ها است که در این میان، کاربرد متانول از جایگاه ویژه‌ای

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Farzadpaknejad@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303

برخوردار است. محلول‌پاشی متانول با افزایش دی‌اکسیدکربن موجب کاهش تنفس نوری و در نهایت، افزایش فتوسنتز در گیاهان می‌شود، به‌طوری‌که متانول به‌کار برده‌شده روی گیاهان سه‌کربنه به‌ویژه در شرایطی که تنفس نوری در گیاهان به مقدار زیادی در حال انجام است، می‌تواند بخشی از تلفات کربن تثبیت‌شده توسط فتوسنتز را جبران نماید و از این طریق، افزایش فتوسنتز خالص در واحد سطح و بالارفتن تولید ماده خشک در گیاهان زراعی سه‌کربنه را به همراه داشته باشد(Dorokhov, Sheshukova, & Komarova, 2018). علاوه‌براین، موجب جذب نیتروژن در گیاهان می‌شود که با افزایش جذب نیتروژن در گیاه، تعداد و اندازه برگ‌ها در گیاهان و همچنین مقدار نور جذب‌شده توسط گیاه افزایش می‌یابد (Leonzio Zondervan, & Foscolo, 2019; Roode-Gutzmer, Kaiser, & Bertau, 2019). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد متانول سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم(*Triticum aestivum*) شد (Nassirpour & Khademi, 2020). پژوهشگران بیان داشتند که بیشترین عملکرد ریشه، عملکرد بخش هوایی و عملکرد شکر سفید در چغندرقند متعلق به تیمار ۲۱ درصد حجمی متانول به‌ترتیب با ۳/۰۳، ۵۳/۹۲ و ۱۳/۷۲ تن در هکتار بود(Nadali *et al.*, 2010). علاوه‌براین گزارش شده است که کاربرد متانول (۱۳/۳۱ درصد) مقدار قند چغندرقند را افزایش داد. همچنین بیشترین عملکرد ریشه چغندرقند (۵۳/۲۵ تن در هکتار) مربوط به تیمار متانول هفت درصد و تنش خشکی (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) بود (Nadali Paknejad, & Ghafari, 2014).

گلایسین بتائین نیز نوعی ترکیب آمونیومی است که در ریزجانداران مختلف، گیاهان عالی و حیوانات وجود دارد و در بین بسیاری از ترکیبات آمونیومی چهارگانه شناخته شده است. گلایسین بتائین، مولکول آلی محلول در آب است که می‌تواند با حفاظت از سلول‌های گیاهی به‌وسیله تنظیم اسمزی، پایدار کردن پروتئین‌ها، حفاظت از دستگاه فتوسنتزی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، نقشی حفاظتی در برابر تنش‌های محیطی ایفا نماید (Gupta & Thind, 2017; Ahmad *et al.*, 2019). در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد متانول و گلایسین اثر مثبتی بر عملکرد چغندرقند نشان داده و افزایش عملکرد و صفات فیزیولوژیک این گیاه را به همراه داشت (Haghighi, Habibi, Mozafari, Sani, & Sadeghishoae, 2021). همچنین گزارش شد که گلایسین موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شده است (Gupta & Thind, 2017; Ahmed *et al.*, 2019). در خصوص تأثیر نانو سیلیکات سدیم متانولی و اثر آن بر گیاهان به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی متفاوت، تحقیقات کافی صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلایسین بر عملکرد گیاهان، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی محلول‌پاشی متانول، گلایسین و اثر متقابل آن‌ها و معرفی بهترین سطح محلول‌پاشی بر عملکرد و کیفیت چغندرقند در دو منطقه با شرایط آب‌وهوای متفاوت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر متانول و اسید آمینه گلایسین در عملکرد کمّی و کیفی چغندرقند، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ در سه تکرار، در دو منطقه کرج و قم با شرایط آب‌وهوایی متفاوت (کرج منطقه‌ای سرد و کوهستانی با تابستان معتدل و قم منطقه‌ای خشک و کویری با تابستان گرم و خشک) اجرا شد. اراضی کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کمال آباد شهرستان کرج (عرض جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی) مرکز استان البرز و همچنین ایستگاه تحقیقات کشاورزی جعفریه قم (عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی) دو مکان اجرای تحقیق بودند.

تیمارها شامل شش سطح متانول (صفر (عدم مصرف)، ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول و ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی نانو سیلیکات سدیم متانولی) همچنین سه سطح اسید آمینه گلایسین (صفر (عدم مصرف)، دو و چهار گرم در لیتر) بود. برای اعمال تیمارهای نانو سیلیکات سدیم متانولی در پژوهش حاضر از پلی‌اتیلن سیلیکاتی که حاوی ذرات نانو سیلیکا با ضخامت ۳۱۰ میکرون و غلظت ذرات نانو در هر بسته ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام که حاوی ماده آنتی‌باکتریال و دارای نفوذپذیری ۲۰ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای دی‌اکسیدکربن و ۳۵ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای اکسیژن و غیر قابل نفوذ برای ورود و خروج بخارآب است، استفاده گردید. پلی‌اتیلن سیلیکاتی از شرکت نانو بسپار آیتک تهران واقع در اطراف شهر تهران تهیه شد. نانو متاسیلیکات سدیم یا نانو سیلیکات سدیم به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی با فرمول Na_2SiO_3 شناخته می‌شود. این ترکیب دارای خواص و کاربردهای متنوعی است. به‌علت خاصیت چسبندگی و پایداری متاسیلیکات سدیم، این ترکیب می‌تواند به مولکول‌های متانول چسبیده شود و مانع ریزش متانول از روی برگ‌ها و جذب بهتر می‌شود و به‌علت خاصیت ضدآبی که دارد مانع از آب‌شویی متانول از روی برگ‌ها می‌شود (Epstein, 1999; Elliot & Snyder, 1991).

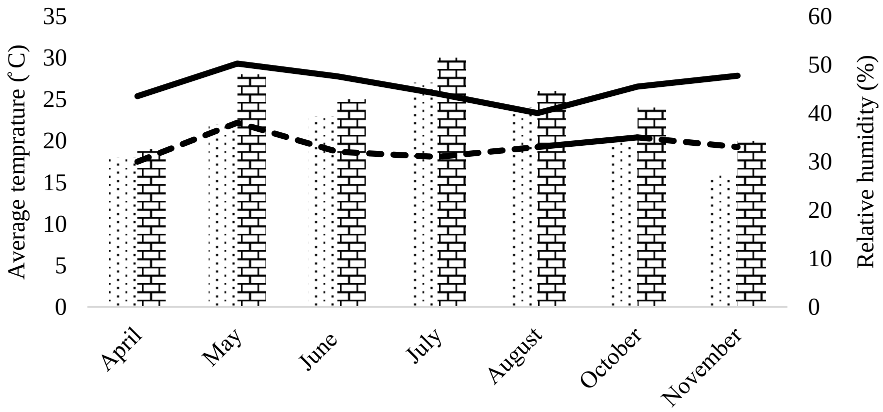
هر کرت شامل پنج خط کاشت شش متری با فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. تراکم بوته ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و عمق کاشت بذر ۳-۲ سانتی‌متر بود. در پاییز جهت تهیه بستر کاشت نسبت به شخم عمیق اقدام گردید، در ادامه عملیات کشاورزی زمین در بهار

نسبت به اجرای شخم سبک، دیسک و لولر اقدام گردید. زمان کاشت بذر در کرج و جعفریه قم، اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ بود. بذور چغندرقند از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج به‌صورت تک جوانه (منوژرم) تهیه شدند. رقم استفاده شده، رقم رسول بود. قبل از کاشت، جهت تعیین مقادیر کود مورد نیاز، نمونه خاک از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری گرفته شد و به آزمایشگاه تجزیه کیفی ارسال شد و مقدار کودهای مورد نیاز تعیین شد (جدول ۱). مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره حاوی ۴۶ درصد ازت خالص به‌صورت دست‌پاش اضافه گردید. نصف کود را بعد از تنک و استقرار بوته‌ها و مابقی در سه ماهه دوم در زمان بسته شدن تاج‌پوشش اضافه شد. همچنین همزمان با کاشت، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد. آبیاری‌ها پس از ۸۰ میلی‌متر (هشت سانتی‌متر) تبخیر از تشتک تبخیر انجام شد و آبیاری به‌وسیله نوارهای آبیاری صورت گرفت (Paknejad, Majidiheravan, Noor Mohammadi, Siyadat, & Vazan, 2007). در طول دوره رشد گیاهان، اطلاعات هواشناسی از ایستگاه‌های هواشناسی مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری و ثبت گردید (شکل ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج و جعفریه قم در سال ۱۳۹۸

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil in two test areas

منطقه Region	اسیدیته pH	مواد آلی Organic materials (%)	پتاسیم K (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	NO_3 (mg kg^{-1})	NH_4 (mg kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	بافت خاک Soil texture
کرج Karaj	7.85	1.04	568	12.16	15.23	6.21	1.03	رسی – لومی Clay-loam
قم Qom	7.82	0.28	559	8.34	14.64	5.95	1.82	رسی Clay



شکل ۱- روند تغییرات دما و رطوبت در ماه‌های فروردین تا مهر در در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج و جعفریه قم در سال ۱۳۹۸

Figure 1- Temperature and humidity changes in the months of April to October in Kamal Abad Karaj and Jafarieh Qom agricultural research stations in 2018

سطوح حجمی متانول مصرفی براساس هر ۱۰۰ لیتر آب محاسبه شد. به عبارت دیگر، در سطح متانول ۱۵ درصد حجمی به‌ازای هر ۱۰۰ لیتر آب ۱۵ لیتر متانول استفاده شد. محلول‌پاشی سه بار طی فصل رشد گیاه با فواصل ۱۴ روز روی قسمت‌های هوایی بوته چغندرقند انجام شد. اولین محلول‌پاشی، دو ماه پس از کاشت در مرحله رشدی ۱۶ برگی چغندرقند در تاریخ ۱۹ تیر آغاز شد. محلول‌پاشی‌ها با محلول‌پاش کوله‌ای (پشتی) در اوایل روز (صبح) با نازل ریزپاش صورت گرفت. قطرات محلول روی تمام قسمت‌های بوته جاری شد و محلول‌پاشی بوته‌ها تا زمان جاری شدن قطره‌های محلول مورداستفاده روی گیاه ادامه یافت. کرت‌های مربوط به شاهد با آب محلول‌پاشی شدند. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

در ۱۴ آبان، عملیات برداشت ریشه‌های چغندرقند با رعایت اثرات حاشیه‌ای صورت گرفت و از مزرعه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از جدا کردن اندام هوایی در مزرعه، توزین شد و جهت تجزیه کیفی به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در

آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. ریشه‌های برداشت‌شده از هر کرت شسته شد و پس از وزن کردن از مجموع آن‌ها به‌طور تصادفی توسط دستگاه اتوماتیک، خمیر تهیه گردید و در ظروف مخصوص قرار داده شد و روی نمونه‌ها با پوشش نایلونی پوشیده شد. سپس سینی‌های مخصوص بلافاصله به فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید و به محل استحصال قند واقع در کمال‌آباد کرج انتقال یافت. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند ناخالص، عملکرد شکر سفید، ناخالصی‌های ریشه شامل سدیم و پتاسیم و نیتروژن مضره، ضریب قلیائیت (آلکالیته)، درصد شکر قابل‌استحصال، ضریب استحصال شکر، درصد قند ملاس، نسبت سدیم به شکر، نسبت پتاسیم به شکر و نسبت نیتروژن مضره به شکر بود. جهت آنالیز کیفی هر نمونه، پس از خارج شدن از حالت انجماد از هر نمونه ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب توسط همزن به‌مدت سه دقیقه مخلوط شد و پس از عبور از فیلترهای خاص، شربت زلالی به‌دست آمد که در آن درصد قند به‌روش پلاریمتری توسط دستگاه ساکاریمتر (ICUMSA, 2007)، سدیم و پتاسیم به‌روش فلیم فتومتری، نیتروژن مضره به‌روش عدد آبی و از دستگاه بتالایزر استفاده شد (Kubadinow & Weininger, 1972). برای محاسبه قند ملاس (MS) از رابطه (۱) استفاده شد (Buchholz, Marlander, Puke, Glattkowski, & Thielecke, 1995).

$$MS = 0.12\ (K + Na) + 0.24\ (\alpha\text{-amino N}) + 0.48 \qquad (۱)$$

که در آن، K: میزان پتاسیم، Na: میزان سدیم و α-amino N: میزان نیتروژن مضره برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه است. با توجه به غلظت ناخالصی‌های موجود، مقدار شکر سفید یا شکر قابل‌استحصال برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندرقند و درصد قند ملاس برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندرقند و برحسب تن در هکتار براساس رابطه (۲) محاسبه شد (Abdollahian Noghabi, Sheykhol Eslami, & Babayi, 2005).

(۲) درصد قند= شکر قابل‌استحصال −(ملاس + ۰/۶)

جدول ۲- نتایج آزمون بارتلت

Table 2- Bartlett test results

صفات Traits	*P*	chi-square
عملکرد ریشه Root dry matter yield	0.4752	0.7216
درصد قند Sugar percentage	0.6691	0.9345
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	0.8274	0.7956
عملکرد شکر سفید White sugar yield	0.4353	0.3118
سدیم Na	0.4199	0.8627
پتاسیم K	0.7264	0.3425
نیتروژن N	0.8042	0.6683
ضریب قلیائیت یا آلکالیته Alkalinity coefficient (AlC)	0.3657	0.6911
درصد شکر قابل استحصال White sugar content (WSC)	0.2785	0.9534
ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (ESC)	0.3852	0.2596
درصد قند ملاس Molasses Sugar (MS)	0.9417	0.7328
نسبت سدیم به شکر NaSR	0.8263	0.9054
نسبت پتاسیم به شکر KSR	0.4436	0.6281
نسبت نیتروژن مضره به شکر α-NSR	0.6395	0.3578

ضایعات شکر کارخانه قند معادل ۰/۶ در نظر گرفته شد. مقدار قند ملاس براساس مقدار پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره بیان شد. ضریب استحصال شکر (مقدار شکر سفید قابل‌استحصال از ساکارز موجود در ریشه چغندرقند) نیز از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (واحد درصد):

(۳)

۱۰۰× (درصد قند ÷ شکر قابل‌استحصال)= ضریب استحصال شکر

ضریب قلیائیت یا آلکالیته (Alk) براساس رابطه (۴) محاسبه شد (Wieninger & Kubadinow, 1971).

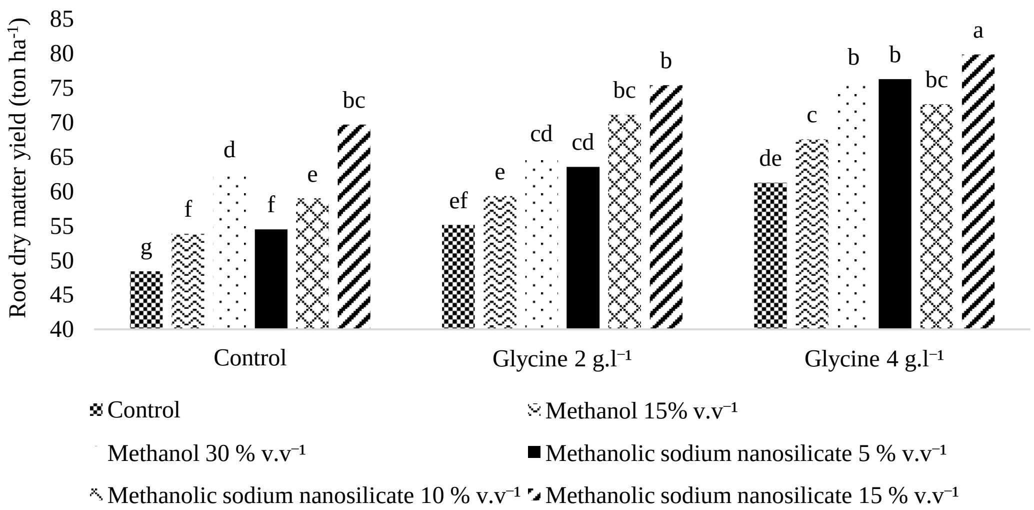
$$Alk = (K + Na) / (\alpha\text{-amino N}) \quad (۴)$$

در این پژوهش، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون بارتلت جهت اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی انجام شد (جدول ۲). تجزیه و تحلیل آماری به‌روش مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد ماده خشک ریشه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر متانول، گلایسین و همچنین اثرات متقابل متانول و گلایسین با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد ماده خشک ریشه معنی‌دار است (جدول ۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، اثرات متقابل متانول و گلایسین بر عملکرد ریشه، محلول‌پاشی متانول و گلایسین موجب بهبود عملکرد ریشه چغندرقند نسبت به شاهد شد و با افزایش غلظت متانول و همچنین گلایسین، عملکرد ماده خشک ریشه نیز افزایش یافت. کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی در بهبود عملکرد ماده خشک ریشه نسبت به متانول تأثیر بسزایی داشت، به‌طوری‌که چغندرقند در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی با غلظت ۱۵ درصد حجمی نسبت به تیمار متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی، عملکرد ماده خشک ریشه بیشتری داشت. برهم‌کنش نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی + گلایسین چهار گرم در لیتر، ۶۵ درصد عملکرد ماده خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲). گیاهان تیمار شده با متانول می‌توانند فتوسنتز خالص خود را افزایش داده و سبب بهبود عملکرد خود شوند. در واقع، متانول در گیاه به فرمالدئید و دی‌اکسیدکربن تبدیل شده و در نهایت، سبب تولید ساکاروز و آمینواسید بیشتر در گیاه می‌شود که با افزایش غلظت متانول، این مکانیسم عملکرد افزایش می‌یابد (Dorokhov *et al.*, 2018). علاوه‌براین، متانول به‌علت تأثیر مثبت روی باکتری‌های محرک رشد و همچنین هورمون‌های رشد گیاهی نظیر اکسین سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Roode-Gutzmer *et al.*, 2019). فناوری نانو با جذب بهتر توسط گیاه سبب افزایش عملکرد ماده خشک ریشه شد (Babu *et al.*, 2022).



شکل ۲- اثرات متقابل متانول و گلایسین بر عملکرد ماده خشک ریشه چغندرقند

Figure 2- Interaction effects of methanol and glycine on root dry matter yield of sugar beet

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level

به نظر می‌رسد که کاربرد گلایسین بـا افـزایش میـزان فعالیـت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان احتمالاً از طریق تثبیت ساختار پـروتئین‌هـای آنزیمـی و بـه‌دلیل افـزایش هـدایت روزنـه‌ای، افـزایش فتوسـنتز، تورژسانس سلولی و به دنبال آن، افزایش طویل شدن سـلول موجـب افزایش عملکـرد ریشـه چغندرقنـد شـده اسـت (Gupta & Thind, 2017). پیرو این امر، محققان گـزارش کردنـد کـه کـاربرد متـانول و گلایسین موجب افزایش عملکرد ماده خشک ریشه چغنـدر علوفـه‌ای شده است (Haghighi *et al.*, 2021).

درصد قند ناخالص

اثر منطقه و گلایسین با احتمال خطای یک درصد و اثـر متـانول با احتمال خطای پنج درصد بر درصـد قنـد معنـی‌دار شـد (جـدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین بیـانگر آن اسـت کـه درصـد قنـد در منطقه کرج ۱۰/۷۳ درصد بیشتر از قم بود که می‌توان گفت بـه‌دلیـل وجود ماده آلی خاک بیشتر (جدول ۱) و همچنین شـرایط آب‌وهـوایی مناسب‌تر، خصوصاً در اواخر دوره رشد در منطقه کرج باشد (شکل ۱)، زیرا دمای پایین‌تر در منطقه کرج، شرایط مطلوبی را برای تجمع مـواد قنـدی در ریشـه چغندرقنـد فـراهم مـی‌آورد (Bagheri Shirvan, Asadi, & Koochecki, 2020). از طـرف دیگـر، محلـول‌پاشـی گیاهان با تیمار گلایسین به‌علت افزایش هورمون اکسـین و افـزایش انتقال ساکاروز از برگ‌ها به ریشه چغندرقند سبب افزایش درصـد قنـد در ریشه می‌شود. در میان تیمارهای متانول، درصد قند ناخالص ریشـه در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصـد حجمـی و همچنـین تیمار متانول ۳۰ درصد حجمی نسـبت بـه شـاهد ۱۵ درصـد افـزایش یافت. همچنین تیمار گلایسین چهار گـرم در لیتـر نیـز سـبب بهبـود درصد قنـد بـه‌میـزان ۱۵/۷۹ درصـد شـد (جـدول ۵). محلـول‌پاشـی اسیدهای آمینه نظیر گلایسین باعث افـزایش رانـدمان تبـدیل کـربن می‌شود. بنابراین، افزایش درصد قند در تیمار گلایسین را می‌توان بـه افزایش هورمون اکسین و افزایش انتقـال سـاکارز از بـرگ بـه ریشـه نسبت داد (Haghighi *et al.*, 2021). ازآن‌جایی‌که درصد قند جزئی از عملکرد ماده خشک ریشه است، کاربرد متانول با افزایش فتوسنتز و باکتری‌های محرک رشد و تولید ساکاروز بیشتر در گیاه سبب افزایش درصد قند شد (Dorokhov *et al*., 2018). در همین راستا، گـزارش شد که محلول‌پاشی متانول و گلایسین، درصـد قنـد در غـده چغنـدر علوفه‌ای را افزایش داد و پژوهشگران اظهار داشتند که قند موجـود در گیاه با کاربرد متانول بهبود می‌یابد که علت آن را می‌تـوان از طریـق افـزایش تورژسـانس سـلولی، افـزایش سـطح بـرگ و سـرعت رشـد محصـول در گیاهـان تیمارشـده، عنـوان کـرد (Haghighi *et al.*, 2021).

عملکرد قند ناخالص

اثر منطقه، گلایسین و اثرات متقابل آنان با احتمال خطـای یـک درصـد بـر عملکـرد قنـد ناخـالص معنـی‌دار شـد (جـدول ۳). نتـایج برهم‌کنش منطقه و گلایسـین حـاکی از آن اسـت کـه عملکـرد قنـد ناخالص در منطقه قم بیشتر از کرج بود و کاربرد گلایسین نسـبت بـه عدم مصرف آن، عملکرد قند ناخالص را کاهش داد. تیمار عدم مصرف گلایسین در قم نسبت به تیمار مصرف گلایسین با غلظت چهار گـرم در لیتر در کرج، ۲۵/۲۷ درصد عملکـرد قنـد ناخـالص را افـزایش داد (شکل ۳). میزان هدایت الکتریکی خـاک محـل اجـرای آزمـایش در منطقه قم بیشتر از کرج بود و ازآن‌جایی‌که سـدیم یکـی از عناصـری است که به‌صورت ناخالص در ریشه وجود دارد، بنابراین افـزایش ایـن عنصر میزان عملکرد قند ناخـالص را افـزایش داده و از خلـوص قنـد می‌کاهـد (Bashiri, Mir Mahoudi, & Fotouhi, 2015). کـاربرد گلایسین از طریق تنظیم نسبت سدیم بـه پتاسـیم، نقـش مهمـی در کاهش عملکرد قند ناخالص دارد (Kurepin *et al.*, 2015).

عملکرد شکر سفید

اثر متانول و گلایسین بـا احتمـال خطـای یـک درصـد و اثـرات متقابل متانول و گلایسین با احتمال خطای پـنج درصـد بـر عملکـرد شکر سفید معنی‌دار شد (جـدول ۳). بـرهم‌کنش متـانول و گلایسـین بیانگر آن است که نانو سیلیکات سدیم متـانولی در افـزایش عملکـرد شکر سفید نقش مؤثرتری نسبت به متانول داشت، به‌طوری‌که اثـرات متقابل تیمارهای نانو سیلیکات سـدیم متـانولی ۱۵ درصـد حجمـی + گلایسین چهار گرم در لیتر، عملکرد شکر سفید را ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۴). محلول‌پاشـی ترکیبـات نـانو، مانـدگاری بالاتری روی برگ‌های گیاه نسبت به مواد غیر نـانو دارنـد. بنـابراین، گیاه فرصت بیشتری برای جـذب آن دارد و همچنـین بـه‌علت انـدازه کوچکی که دارند، گیاه آن‌ها را راحت‌تر جذب می‌کند (Babu *et al.*, 2022). متانول با بهبود فتوسنتز و باکتری‌های محرک رشـد و تولیـد ساکاروز بیشتر در گیاه سبب افزایش عملکـرد شـکر سـفید مـی‌شـود (Dorokhov *et al.*, 2018). گلایسین بـا افـزایش رانـدمان تبـدیل کربن سبب انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشـه شـده و عملکـرد شـکر سفید را افزایش می‌دهـد (Haghighi *et al.*, 2021). نتـایج مطالعـه حاضر با سایر پژوهشگران مطابقت داشـت، آنـان اظهـار داشـتند کـه کاربرد متـانول سـبب افـزایش عملکـرد شـکر سـفید چغندرقنـد شـد (Nadali *et al.*, 2010).

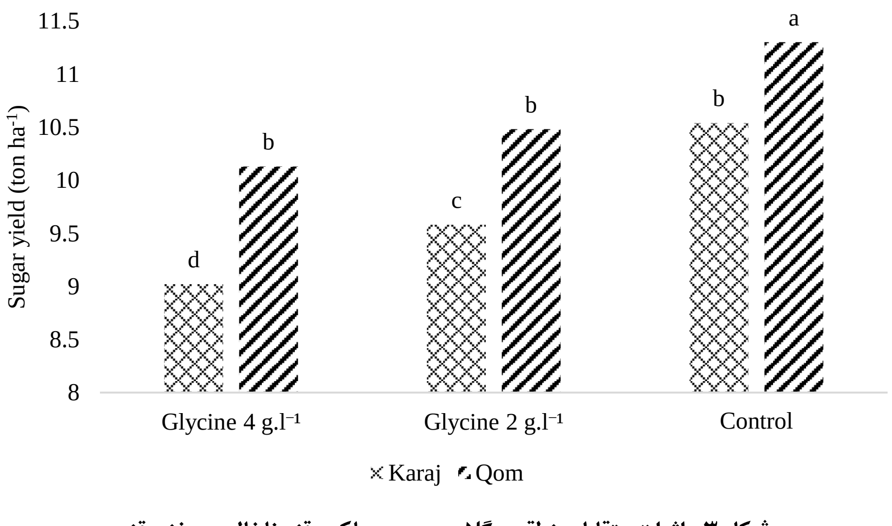
جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و خصوصیات کیفی چغندرقند

Table 3- Variance analysis of yield and qualitative characteristics of sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد ماده خشک ریشه Root dry matter yield	درصد قند Sugar percentage	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	عملکرد شکر سفید White sugar yield	سدیم Na	پتاسیم P	نیتروژن N
منطقه Region (R)	1	6.12ns	68.11**	79.32**	2.92ns	26.87*	42.62*	36.41*
تکرار در منطقه Replication in R	4	18.88	2.02	2.17	3.15	5.71	2.53	1.68
متانول Methanol (M)	5	2925.55**	752.28*	1.91ns	279.16**	81.75**	26.18**	11.54**
منطقه × متانول R × M	5	34.47ns	4.36ns	1.35ns	2.85ns	4.23ns	4.12ns	0.85ns
گلایسین Glycine (G)	2	1626.37**	609.52**	459.69**	824.12**	56.35**	37.51**	9.49*
منطقه × گلایسین R × G	2	8.89ns	1.54ns	25.41**	5.35ns	6.14ns	1.86ns	1.12ns
متانول × گلایسین M × G	10	1958.07**	179.25ns	1.87ns	334.72*	3.82ns	2.35ns	4.76ns
منطقه× متانول× گلایسین R × M × G	10	32.25ns	1.98ns	1.05ns	3.89ns	4.13ns	1.84ns	2.97ns
خطا Error	68	9.47	5.82	2.76	1.12	7.56	5.79	3.83
ضریب تغییرات CV		10.5	8.9	11.2	13.6	10.9	12.1	11.4

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.

ns: not significant,* and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

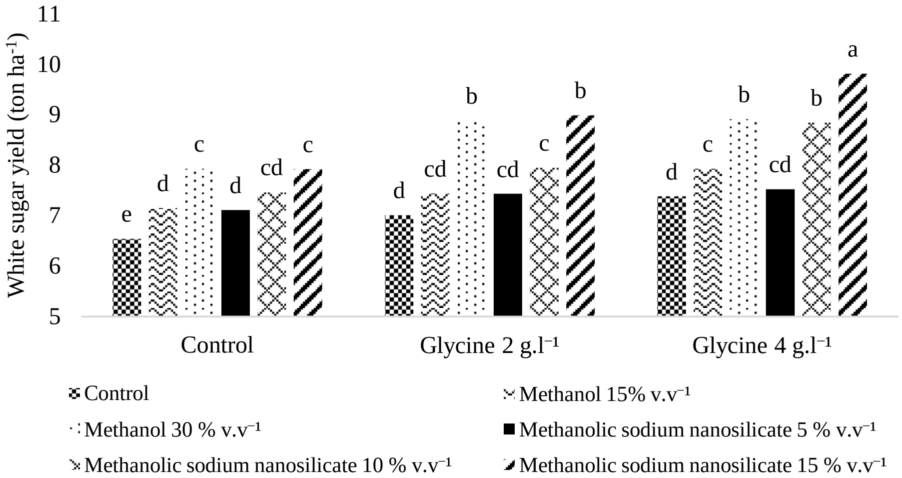


شکل ۳- اثرات متقابل منطقه و گلایسین بر عملکرد قند ناخالص چغندرقند

Figure 3- Interaction effects of region and glycine on sugar yield of sugar beet

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level



شکل ٤- اثرات متقابل متانول و گلایسین بر عملکرد شکر سفید چغندرقند

Figure 4- Interaction effects of methanol and glycine on white sugar yield of sugar beet

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level

میزان ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم، نیتروژن)

اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد، اثر گلایسین بر سدیم و پتاسیم با احتمال خطای یک درصد و بر نیتروژن با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن است که در مجموع، ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم، نیتروژن) در قم بیشتر از کرج بود، به‌طوری‌که میزان سدیم در منطقه قم ۴۵/۰۳ درصد بیشتر از کرج بود و میزان پتاسیم در منطقه کرج ۳۱/۲۱ درصد و نیتروژن ۶۵/۱۶ درصد بیشتر از قم بود. به‌طور کلی، افزایش غلظت متانول و گلایسین موجب کاهش ناخالصی‌های ریشه چغندرقند شد. میزان سدیم در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد ۵۶/۰۶ درصد بیشتر از شاهد بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی پنج درصد ۴۶/۱۸ درصد و همچنین تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۰ درصد ۴۷/۹۳ درصد موجب افزایش پتاسیم نسبت به شاهد شد. نیتروژن در تیمار متانول ۳۰ درصد و نانو سیلیکات سدیم متانولی پنج درصد ۶۹/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در تیمارهای گلایسین نیز بیشترین مقدار سدیم مربوط به شاهد بود که سبب افزایش ۳۱/۲۳ درصدی سدیم ریشه نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر شد. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به تیمار دو گرم در لیتر بود که پتاسیم ریشه را ۲۵/۵۲ درصد نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر افزایش داد. بیشترین نیتروژن ریشه هم در شاهد و دو گرم در لیتر مشاهده شد که موجب افزایش ۷۳ درصدی نیتروژن ریشه نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر شدند (جدول ۵). می‌توان اظهار داشت که افزایش مقدار نیتروژن در منطقه کرج به‌علت بیشتر بودن نیتروژن و پتاسیم خاک در این منطقه باشد. همچنین هدایت الکتریکی خاک در منطقه قم بیشتر از کرج بود که می‌توان آن را دلیل افزایش سدیم در منطقه قم دانست (جدول ۱). علت افزایش نیتروژن در تیمار متانول ۳۰ درصد، شاید به‌دلیل جذب عناصر برای تنظیم فشار اسمزی در گیاه چغندرقند به‌منظور افزایش آماس، رشد و تجمع ماده خشک باشد. بعد از محلول‌پاشی متانول، گیاه بر اثر فعالیت متابولیکی بالا، جذب عناصری نظیر نیتروژن را افزایش می‌دهد (Zbiec, Karczmarczyk, & Koszanskin, 1999). بهبود کیفیت محصول چغندرقند، از طریق ارتقای درصد قند قابل‌استحصال و کاهش مواد غیرقندی به‌ویژه نیتروژن و سدیم، مورد هدف است، زیرا افزایش این ناخالصی‌ها، باعث جلوگیری از کریستالیزه شدن ساکارز شده و قابلیت‌استحصال قند را کاهش داده و موجب افزایش میزان ملاس می‌شود. افزایش فراهمی عناصر معدنی توسط کاربرد گلایسین و متانول سبب افزایش نیتروژن و پتاسیم در تیمارهای دارای گلایسین و متانول شده است، علت این افزایش احتمالاً به‌دلیل جذب عناصر برای تنظیم فشار اسمزی در گیاه چغندرقند به‌منظور افزایش آماس و رشد و تجمع ماده خشک می‌باشد، اما ازآن‌جایی‌که میزان ناخالصی‌های ریشه رابطه عکس با درصد قند ریشه و درصد قند ملاس دارد، پس می‌توان اظهار داشت که کاربرد گلایسین چهار گرم در لیتر و نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی، تیمار مفیدی برای چغندرقند بوده است، زیرا این تیمارها، عناصر معدنی جذب‌شده توسط گیاه را به تولید قند و افزایش آن اختصاص داده‌اند و درصد ناخالصی‌های ریشه در این تیمارها نسبت به سایر سطوح کاهش یافته است (Nemeata Alla, Nemeata Alla, & Zalat, 2016). کاربرد گلایسین، میزان اسیدهای آمینه را تحت تأثیر قرار داده و موجب افزایش میزان پروتئین و کاهش غلظت نیترات در بافت‌های گیاهی می‌گردد (Yamada *et al.*, 2015). نتایج

مطالعه حاضر با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت. آنان گزارش کردند که کاربرد متانول سبب افزایش درصد قند و کاهش ناخالصی‌های ریشه چغندرقند شد (Nemeata Alla *et al.*, 2016).

ضریب قلیائیت یا آلکالیته

اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد و اثر گلایسین با احتمال خطای پنج درصد بر ضریب قلیائیت معنی‌دار شد (جدول ۴). ضریب قلیائیت در منطقه قم ۵۹/۷۰ درصد بیشتر از کرج بود. در شاهد متانول نیز ضریب قلیائیت ۴۵/۴۵ درصد بیشتر از متانول ۳۰ درصد بود. همچنین تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر این شاخص را ۴۱/۲۰ درصد نسبت به شاهد و تیمار گلایسین دو گرم در لیتر افزایش داد (جدول ۵). با توجه به اینکه ضریب قلیائیت یا آلکالیته عبارت است از نسبت مجموع سدیم و پتاسیم به نیتروژن مضره موجود در ریشه چغندرقند، بنابراین هرچه میزان نیتروژن مضره بیشتر باشد، ضریب قلیائیت کاهش می‌یابد (Orojnia *et al.*, 2011). احتمالاً کمتر بودن ضریب قلیائیت در منطقه کرج، تیمار متانول ۳۰ درصد و همچنین گلایسین چهار گرم در لیتر به‌دلیل پایین‌تر بودن میزان سدیم و پتاسیم و بالاتر بودن نیتروژن مضره نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. پیرو این امر گزارش شد که متانول، کاهش ضریب قلیائیت چغندرقند را به همراه داشت (Nemeata Alla *et al.*, 2016).

درصد شکر قابل‌استحصال

درصد شکر قابل‌استحصال، شاخص اقتصادی مهمی در تولید چغندرقند است. اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد و اثر گلایسین با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). درصد شکر قابل‌استحصال در منطقه کرج، ۱۹/۲۷ درصد بیشتر از منطقه قم بود. در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد نیز درصد شکر قابل‌استحصال را ۲۵/۶۷ درصد نسبت به شاهد متانول افزایش داد. همچنین تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر این شاخص را ۱۶/۴۰ درصد نسبت به شاهد و تیمار گلایسین دو گرم در لیتر بهبود داد (جدول ۵). استخراج قند از ریشه به مواد غیرقندی به‌ویژه ترکیبات نیتروژن، سدیم و پتاسیم بستگی دارد. از نظر فناوری، مقدار نیتروژن جذب‌شده در گیاه تأثیر به‌سزایی بر تجمع ناخالصی‌های سدیم و پتاسیم داشته و می‌تواند عامل اصلی کاهش درصد قند و افزایش میزان آب ریشه باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس سایر خصوصیات کیفی چغندرقند

Table 4- Variance analysis of other quality characteristics of sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: ضریب قلیائیت یا آلکالیته Alcalinity	درصد شکر قابل استحصال White sugar content	ضریب استحصال شکر Extraction sugar coefficient	درصد قند ملاس Molasses sugar	نسبت سدیم به شکر Na sugar^{-1}	نسبت پتاسیم به شکر K sugar^{-1}	نسبت نیتروژن مضره به شکر α-N sugar^{-1}
منطقه Region (R)	1	46.75**	117.45**	850.36**	6.68**	122.18ns	59.27ns	61.12ns
تکرار در منطقه Replication in R	4	3.69	4.85	85.16	2.38	547.52	124.19	105.24
متانول Methanol (M)	5	59.09**	98.43**	740.84**	88.24**	35380.61**	6508.38**	4973.68**
R × M	5	1.69ns	1.84ns	15.75ns	2.31ns	375.27 ns	204.68ns	204.59ns
گلایسین Glycine (G)	2	42.86*	124.72*	367.93**	93.21**	82346.69**	9058.43**	2081.73**
R×G	2	2.25ns	4.35ns	6.41ns	0.97ns	397.44 ns	91.29 ns	142.56 ns
M × G	10	3.01ns	1.83ns	30.01ns	3.24ns	265.81 ns	324.59 ns	281.25ns
R × M × G	10	2.79ns	1.01ns	17.55ns	2.86ns	172.45 ns	413.81 ns	349.51 ns
خطا Error	68	5.64	2.28	26.35	8.73	571.83	917.36	1034.28
ضریب تغییرات CV		9.8	12.7	7.8	10	13.5	11.2	12.7

** و * به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار

ns: not significant,* and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

کاربرد گلایسین با تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم در تحمل گیاه به نمک نقش مهمی دارد. به‌دلیل هدایت الکتریکی بیشتر خاک در منطقه قم (جدول ۱)، تجمع سدیم در گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. ازآن‌جایی‌که درصد شکر قابل‌استحصال مرتبط با عملکرد ماده خشک ریشه و همچنین درصد قند خالص ریشه است، افزایش درصد شکر قابل‌استحصال در تیمارهای متانول و گلایسین قابل‌توجیه است. کاربرد متانول و گلایسین با افزایش فتوسنتز سبب افزایش رشد گیاه و حفظ سطح برگ مطلوب در گیاه چغندرقند می‌شوند. در نتیجه، مواد قندی بیشتری تولید و به ریشه انتقال می‌یابد و باعث افزایش میزان شکر قابل‌استحصال در تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به شاهد می‌شود (Nemeata Alla *et al.*, 2016; Yamada *et al.*, 2015). هم‌راستا با مطالعه حاضر، سایر پژوهشگران اعلام کردند که متانول میزان شکر قابل‌استحصال چغندرقند را افزایش داد (Nadali *et al.*, 2010).

ضریب استحصال شکر

اثر منطقه، متانول و گلایسین با احتمال خطای یک درصد بر ضریب استحصال شکر معنی‌دار شد (جدول ۴). ضریب استحصال شکر در منطقه کرج ۸/۸۴ درصد بیشتر از منطقه قم بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد نیز ضریب استحصال شکر را ۲۶/۳۸ درصد نسبت به شاهد متانول افزایش داد. همچنین تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر ۱۲/۷۶ درصد سبب افزایش این شاخص نسبت به شاهد شد (جدول ۵). در مطالعه حاضر، ضریب استحصال شکر رابطه عکس با مقدار ناخالصی‌های ریشه (نیتروژن، سدیم و پتاسیم) داشت، به‌طوری‌که در تیمارهایی که نیتروژن، سدیم و پتاسیم بیشتری داشتند، ضریب استحصال شکر کاهش داشت. سایر محققان نیز رابطه معکوس ضریب استحصال شکر با نیتروژن، سدیم و پتاسیم را گزارش کردند (Bagheri Shirvan *et al.*, 2020; Fotouhi, Majidi, Rajabi, & Azizinejad, 2017). افزایش ناخالصی‌های ریشه موجب ممانعت از کریستاله شدن ساکارز می‌شود که به پیرو این امر، ضریب استحصال شکر کاهش می‌یابد (Draycott, 2006). کاهش ضریب استحصال شکر در منطقه قم دور از انتظار نبود، زیرا افزایش هدایت الکتریکی در این منطقه نسبت به کرج (جدول ۱)، و همچنین افزایش ضریب قلیائیت در منطقه قم نسبت به کرج، عواملی هستند که سبب کاهش ضریب استحصال شکر می‌شوند. متانول منبع قوی کربن است و محلول‌پاشی گیاهان با گلایسین، سبب افزایش راندمان تبدیل کربن می‌شود. بنابراین، افزایش درصد قند در تیمارهای گلایسین و متانول را می‌توان به‌علت افزایش هورمون‌های رشد نظیر اکسین، افزایش تولید قند و نهایتاً افزایش انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشه دانست (Nadali *et al.*, 2010; Yamada *et al.*, 2015).

قند ملاس

اثر منطقه، متانول و گلایسین با احتمال خطای یک درصد بر قند ملاس معنی‌دار شد (جدول ۴). قند ملاس در منطقه قم ۳۶/۶۲ درصد بیشتر از منطقه کرج بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد ۳۱/۶۷ درصد و تیمار متانول ۳۰ درصد ۲۸/۶۲ درصد نسبت به شاهد موجب افزایش قند ملاس شد. همچنین تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر قند ملاس را ۲۳/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). تمامی قند موجود در چغندرقند قابل‌استحصال نبوده و نسبت به املاح موجود در ریشه، مقداری از آن به‌صورت قند ملاس از دسترس خارج می‌شود. مواد آلی خاک در منطقه قم کمتر کرج بود (جدول ۱)، در این شرایط، گیاه دچار نقصان مواد غذایی شده و این امر باعث افزایش ناخالصی‌ها و کاهش عیار قند و به دنبال آن کاهش میزان شکر قابل‌استحصال می‌شود. ازآن‌جایی‌که میزان قند ملاس ریشه متأثر از میزان ناخالصی‌های ریشه و ضریب قلیائیت است، افزایش قند ملاس در تیمارهای دارای ناخالصی‌های بیشتر، قابل انتظار بود. عوامل متعددی نظیر شرایط آب‌وهوایی و مواد آلی موجود در خاک در قند ملاس اثرگذار هستند که باعث افزایش میزان اسیدهای آمینه، ترکیبات نیتروژن‌دار و قند اینورت می‌شوند. در همین راستا، گزارش شد که کاربرد گلایسین موجب افزایش شکر قابل‌استحصال و کاهش درصد قند ملاس شد (Yamada *et al.*, 2015).

نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر

اثر متانول و گلایسین با احتمال خطای یک درصد بر نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر معنی‌دار شد (جدول ۴). کاربرد متانول و گلایسین، نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر را کاهش داد. در میان تیمارهای متانول، شاهد ۵۵/۹۴ درصد نسبت سدیم به شکر را در مقایسه با تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد، افزایش داد. تیمار متانول ۳۰ درصد نیز ۲۱/۷۵ درصد موجب افزایش نسبت پتاسیم به شکر در مقایسه با تیمار نانو متانول ۱۰ درصد شد. شاهد نسبت نیتروژن مضره به شکر را ۷۳/۶۶ درصد در مقایسه با تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی افزایش داد. در تیمارهای گلایسین نیز شاهد نسبت سدیم به شکر را ۴۵/۷۵ درصد نسبت به تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر افزایش داد. تیمار گلایسین دو گرم در لیتر نیز موجب افزایش ۱۳/۳۹ درصدی نسبت پتاسیم به شکر در مقایسه با تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر شد. همچنین شاهد نیز نسبت نیتروژن مضره به شکر را ۵۵/۵۹ درصد در مقایسه با تیمار گلایسین چهار گرم در لیتر افزایش داد (جدول ۵). افزایش مقدار ناخالصی‌های ریشه سبب کاهش درصد قند ریشه و افزایش درصد قند ملاس می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر منطقه، متانول و گلایسین بر خصوصیات کیفی چغندرقند

Table 5- Comparison of the average effect of region, methanol and glycine on quality characteristics of sugar beet

تیمارها Treatments	درصد قند Sugar percentage (%)	سدیم Na (meq. 100 g sugar^{-1})	پتاسیم P (meq. 100 g sugar^{-1})	نیتروژن N (meq. 100 g sugar^{-1})	ضریب قلیائیت یا آلکالیته Alcalinity	درصد شکر قابل استحصال white sugar content (%)	ضریب استحصال شکر Extraction sugar coefficient (%)	درصد قند ملاس Molasses sugar	نسبت سدیم به شکر Na sugar^{-1} (%)	نسبت پتاسیم به شکر K sugar^{-1}	نسبت نیتروژن مضره به شکر α-N sugar^{-1}
منطقه Region											
کرج Karaj	16.30^{a*}	3.02^{b}	6.18^{a}	2.94^{a}	3.25^{b}	12.87^{a}	78.64^{a}	2.43^{b}	241.28^{a}	320.80^{a}	123.66^{a}
قم Qom	14.72^{b}	4.38^{a}	4.71^{b}	1.78^{b}	5.19^{a}	10.79^{b}	72.25^{b}	3.32^{a}	248.43^{a}	321.84^{a}	112.15^{b}
متانول Methanol											
Methanolic sodium nanosilicate 15 % v.v^{-1}	16.23^{a}	3.05^{d}	6.15^{b}	1.97^{c}	4.65^{b}	12.97^{a}	78.04^{a}	2.93^{c}	197.42^{e}	338.73^{c}	117.73^{f}
Methanolic sodium nanosilicate 10 % v.v^{-1}	15.41^{b}	4.18^{b}	6.79^{a}	2.33^{b}	4.69^{b}	12.01^{c}	72.35^{c}	3.45^{a}	215.79^{d}	311.68^{d}	156.49^{c}
Methanolic sodium nanosilicate 5 % v.v^{-1}	14.93^{c}	4.16^{b}	6.71^{a}	2.87^{a}	3.78^{d}	11.56^{d}	68.08^{d}	3.27^{b}	289.02^{b}	359.28^{b}	195.82^{b}
Methanol 30 % v.v^{-1}	16.19^{a}	3.59^{c}	6.12^{b}	2.88^{a}	3.35^{e}	12.42^{b}	75.26^{b}	3.37^{ab}	217.43^{d}	379.81^{a}	123.44^{e}
Methanol 15 % v.v^{-1}	15.38^{b}	4.11^{b}	5.63^{c}	2.32^{b}	4.19^{c}	11.51^{d}	67.93^{d}	3.22^{b}	257.80^{c}	361.49^{b}	141.89^{d}
شاهد Control	14.07^{d}	4.76^{a}	4.59^{d}	1.70^{d}	5.51^{a}	10.32^{e}	61.75^{e}	2.62^{d}	307.86^{a}	335.75^{c}	204.45^{a}
گلایسین Glycine											
4 g.l^{-1}	16.35^{a}	3.07^{c}	5.72^{b}	1.52^{b}	5.14^{a}	12.84^{a}	77.31^{a}	3.02^{b}	204.75^{c}	331.95^{c}	115.34^{c}
2 g.l^{-1}	15.07^{b}	3.51^{b}	6.54^{a}	2.61^{a}	3.78^{b}	11.91^{b}	72.42^{b}	3.35^{a}	237.94^{b}	376.42^{a}	153.79^{b}
شاهد Control	14.12^{c}	4.16^{a}	5.21^{c}	2.63^{a}	3.69^{b}	11.03^{b}	68.56^{c}	2.71^{c}	298.43^{a}	352.83^{b}	179.46^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

متانول به‌عنوان یک منبع کربن و کاهنده تعرق در گیاه توانسته است سبب افزایش بازدهی شکر و کاهش ناخالصی‌های ریشه شود. مصرف گلایسین نیز با افزایش مقدار هورمون اکسین، مواد قندی بیشتری تولید کرده و انتقال ساکارز از اندام هوایی به ریشه را گسترش داده است (Nemeata Alla & Zalat, 2016; Yamada *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که کاربرد متانول و گلایسین موجب افزایش عملکرد و کیفیت چغندرقند نسبت به شاهد شد. متانول، منبع کربن است و گلایسین با افزایش راندمان کربن سبب بهبود رشد گیاه شد و مواد قندی بیشتری تولید کرد. همچنین انتقال ساکارز از اندام‌های هوایی به ریشه را گسترش داده است. بنابراین، درصد قند بالا رفته و ناخالصی‌های ریشه کاهش یافته است. در میان تیمارهای متانول، افزایش غلظت تیمار متانول تا ۳۰ درصد حجمی نه تنها موجب بهبود کیفیت چغندرقند نشد، بلکه کاهش کیفیت را رقم زد. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی بسیار کارآمدتر از سایر تیمارها بود. به‌طوری‌که عملکرد این تیمار از تیمار متانول ۳۰ درصد حجمی بسیار بهتر بود. زیرا فناوری نانو به‌علت پتانسیل بالا و جذب بهتر توسط گیاه، موجب فراهمی شرایط مناسب برای رشد گیاه شده است. علاوه‌بر تغذیه، تولید چغندرقند بسیار تحت تأثیر آب‌وهوا و شرایط محیطی است. کشت چغندرقند در کرج رضایت‌بخش‌تر از قم بود که می‌توان اظهار داشت این امر به‌دلیل وجود ماده آلی خاک بیشتر، همچنین شرایط آب‌وهوایی مناسب‌تر، به‌ویژه در اواخر دوره رشد در منطقه کرج رخ داده است. بنابراین، عملکرد و کیفیت چغندرقند با کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی و گلایسین چهار گرم در لیتر در شرایط آب‌وهوای کرج نسبت به سایر تیمارها مطلوب‌تر بود.

References

1. Abdollahian-Noghabi, M., Sheykhol Eslami, R., & Babayi, B. (2005). Terms and definitions of quality and quantity of sugar beet, technological, technical abbreviations. *Sugar Beet Journal*, *21*(1), 101-104. (in Persian with English abstract).
2. Ahmed, N., Zhang, Y., Li, K., Zhou, Y., Zhang, M., & Li, Z. (2019). Exogenous application of glycine betaine improved water use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating photosynthetic efficiency and antioxidative capacity under conventional and limited irrigation conditions. *The Crop Journal*, *7*(5), 635-650. https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.03.004
3. Babu, S., Singh, R., Yadav, D., Rathore, S. S., Raj, R., Avasthe, R., Yadav, S. K., Das, A., Yadav, V., & Yadav, B. (2022). Nano fertilizers for agricultural and environmental sustainability. *Chemosphere Journal, 292*(1), 1-19. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133451
4. Bagheri Shirvan, M., Asadi, G. A., & Koochecki, A. (2020). Evaluation of quantity and quality characteristics of sugar beet varieties in different sowing date of direct sowing and transplanting in Shirvan and Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research, 17*(4), 551-565. (in Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.20081472.1398.17.4.4.8
5. Bashiri, B., Mir Mahoudi, T., & Fotouhi, K. (2015). Evaluation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes for their trait associations under saline conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(2), 243-258. (in Persian with English abstract).
6. Bayomi, K. E. M., El-Hashash, E. F., & Moustafa, E. S. A. (2019). Comparison of genetic parameters in non-segregating and segregating populations of sugar beet in Egypt. *Asian Journal of Crop Science*, *3*(1), 1-12. (in Persian with English abstract).
7. Buchholz, K., Marlander, B., Puke, H., Glattkowski, H., & Thielecke, K. (1995). Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie*, *120*(1), 113-121.
8. Dorokhov, Y. L., Sheshukova, E. V., & Komarova, T. V. (2018). Methanol in plant life. *Frontiers in Plant Science*, *9*(1), 1623. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01623
9. Draycott, A. P. (2006). *Sugar beet*. Blackwell Publishing Ltd. United Kingdom. 514 pp.
10. Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C., & Babalola, O. O. (2019). The Role of Nanotechnology in the Fortification of Plant Nutrients and Improvement of Crop Production. *Applied Sciences*, *9*(3), 499. https://doi.org/10.3390/app9030499
11. Elliot, C. L., & G. H. Snyder. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Agricultural and Food Chemistry*, *39*, 1118-1119.
12. Epstein, E. (1999). Silicon. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology, *50*, 641-664.
13. Fotouhi, K., Majidi, E., Rajabi, A., & Azizinejad, R. (2017). Study of genetic variation for drought tolerance in sugar beet half-sib families. *Journal of Sugar Beet, 33*(1), 1-16. (in Persian with English abstract).
14. Gupta, N., & Thind, S. (2017). Grain yield response of drought stressed wheat to foliar application of glycine betaine. *Indian Journal of Agricultural Research, 51*(3), 287-291. https://doi.org/10.18805/ijare.v51i03.7920

15. Haghighi, P., Habibi, D., Mozafari, H., Sani, B., & Sadeghishoae, M. (2021). Impact of methanol and glycine betaine on yield and quality of fodder beet genotypes (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*). *Agronomy*, *11*(1), 2122. https://doi.org/10.3390/agronomy11112122
16. ICUMSA Method GS6-5. (2007). The determination of α-amino nitrogen in sugar beet by the copper method (‘blue number’)—after defecation with basic lead acetate—official—after defecation with aluminium sulphate—official: 3 pp.
17. Kubadinow, N., & Wieninger, L. (1972). Bestimmung des alpha-aminostickstoffs in zuckerru¨ben und betriebssa¨ften der zuckerproduktion. *Zucker*, *25*, 43-47.
18. Kurepin, L. V., Ivanov, A. G., Zaman, M., Pharis, R. P., Allakhverdiev, S. I., Hurry, V., & Hüner, N. P. (2015). Stress-related hormones and glycine betaine interplay in protection of photosynthesis under abiotic stress conditions. *Photosynthesis Research*, *126*(1), 221-235. https://doi.org/10.1007/s11120-015-0125-x
19. Leonzio, G., Zondervan, E., & Foscolo, P. U. (2019). Methanol production by CO_2 hydrogenation: Analysis and simulation of reactor performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(16), 7915-7933. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.056
20. Lubova, T. N., Islamgulov, D. R., Ismagilov, K. R., Ismagilov, R. R., Mukhametshin, A. M., & Alimgafarov, R. R. (2018). Economic efficiency of sugar beet production. *Journal of Engineering and Applied Science*, *13*(1), 6565-6569. https://doi.org/10.3923/jeasci.2018.6565.6569
21. Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Vazan, S., Tookalo, M., Jami Al-Ahmadi, M., & Pazoki, A. (2010). Effects of methanol on sugar beet (*Beta vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, *4*(1), 398-401.
22. Nadali, I., Paknejad, F., & Ghafari, M. (2014). The effect of methanol as a carbon source on quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress conditions. *Agricultural Research Journal*, *6*(3), 232-246. (in Persian with English abstract).
23. Nassirpour, M., & Khademi, M. H. (2020). Evaluation of different cooling technologies for industrial methanol synthesis reactor in terms of energy efficiency and methanol yield: An economic-optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *113*(1), 302-314. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.08.029
24. Nemeata Alla, H. E. A., Nemeata Alla, E. A. E., & Zalat, S. S. (2016). Sugar beet yield and quality as affected by concentration of boron and methanol application. *Annals of Agricultural Science*, *54*(1), 25-34. https://doi.org/10.21608/ASSJM.2016.103906
25. Orojnia, S., Habibi, D., Fethullah Taleghani, D., Safari Dolatabadi, S. A., Pazoky, A., Moaveni, P., Rahmani, M., & Farshidi, M. (2011). Evaluation of sugar beet yield and yield components of different genotypes under drought stress. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, *8*(1), 144-127. (in Persian with English abstract).
26. Paknejad, F., Majidiheravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *5*(4), 162-169.
27. Roode-Gutzmer, Q. I., Kaiser, D., & Bertau, M. (2019). Renewable methanol synthesis. *Annual Review of Chemical and Bimolecular Engineering*, *6*(6), 209-236. https://doi.org/10.1002/cben.201900012
28. Wieninger, L., & Kubadinow, N. (1971). Beziehungenzwischen rubenanalysen und technischer bewertung von zuckerruben. *Zucker*, *24*(1), 599-604.
29. Yamada, N., Takahashi, H., Kitou, K., Sahashi, K., Tamagake, H., Tanaka, Y., & Takabe, T. (2015). Suppressed expression of choline mono oxygenase in sugar beet on the accumulation of glycine betaine. *Plant Physiology and Biochemistry*, *96*(1), 217-221.
30. Zbiec, I., Karczmarczyk, S., & Koszanskin, Z. (1999). Influence of methanol on some cultivated plants. Department of Plant Production and Irrigation. *Agricultural University of Szczecin Poland*, *73*, 217-220.